

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REC'D 18 AUG 2003
WIPO PCT



**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 31 126.9

**Anmeldetag:** 10. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Starten eines Gaserzeugungs-  
systems

**IPC:** H 01 M 8/04

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 9. April 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Eberl

DaimlerChrysler AG

IPM/U-SNF

25.06.2002

Verfahren zum Starten eines Gaserzeugungssystems

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten eines Gaserzeugungssystems zum Erzeugen eines wasserstoffhaltigen Gases zum Betreiben einer Brennstoffzelle, mit Einrichtungen zum Umsetzen von Ausgangsstoffen in das wasserstoffhaltige Gas, mit Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe, mit Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen und mit einem Startbrenner.

Es ist aus dem allgemeinen Stand der Technik bekannt, dass mittels einer Umsetzung von kohlenwasserstoffhaltigen Verbindungen in sogenannten Reformern ein wasserstoffhaltiges Gas erzeugt werden kann, welches z.B. zum Betreiben einer Brennstoffzelle Verwendung finden kann. Insbesondere beim Einsatz von Brennstoffzellen in Kraftfahrzeugen, kann der benötigte Wasserstoff on-board aus einer kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung, wie z.B. Benzin, Diesel, Naphtha, Erdgas oder aus einem Alkohol, wie z.B. Methanol, erzeugt werden. Eine besondere Herausforderung bei allen Einsatzmöglichkeiten, insbesondere jedoch beim Einsatz in Kraftfahrzeugen, ist es dabei, dass das Gaserzeugungssystem in möglichst kurzer Zeit gestartet werden kann. Dazu müssen insbesondere die Komponenten, die für die Reformierung der kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung und für die Reinigung des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen sorgen, möglichst schnell in ihren normalen Betriebszustand gebracht werden.

Aus der US 4,820,598 A1 ist ein Startverfahren für ein Gaserzeugungssystem in einer Brennstoffzellenanlage bekannt. Durch

den während des späteren Betriebs in der Anlage reformierten Brennstoff wird in der Startphase des Gaserzeugungssystems die für das Aufheizen des Gaserzeugungssystems erforderliche thermische Energie durch eine direkte Verbrennung dieses Brennstoffs im Bereich von zumindest einzelner Komponenten des Gaserzeugungssystems bereitgestellt. Die durch die Verbrennung erzeugte thermische Energie kann jedoch in nachteiliger Weise in ihrer Temperatur nicht oder nur sehr schwer kontrolliert werden. Insbesondere bei der Beheizung von Komponenten mit katalytisch aktiven Materialien, wie z.B. Reformern, selektiven Oxidationsstufen und dergleichen, kann es zu einer zumindest punktuellen Überhitzung und damit zu einer nachhaltigen Schädigung des katalytisch aktiven Materials kommen. Ein weiterer Nachteil liegt außerdem in den speziell für eine direkte Beheizung auszubildenden Komponenten, so dass eine Optimierung der Komponenten und ggf. auch eine thermische Isolation derselben erschwert wird. Als weiterer Nachteil ist sicherlich auch anzumerken, dass durch das vorgeschlagene Startverfahren die Beheizung von weiteren, eine niedrigere Temperatur benötigenden Komponenten nicht vorgesehen werden kann.

Lösungen zu Regelung der Temperatur z.B. über eine unter- oder überstöchiometrische Verbrennung könnten zwar prinzipiell angedacht werden, sie hätten jedoch den Nachteil sehr hoher Emissionen an Ruß und/oder unverbrannten Resten des Brennstoffs, im allgemeinen sicherlich eines Kohlenwasserstoffes oder dergleichen bzw. der Bereitstellung hoher Luftmengen, zur Folge.

In anderen Schriften, wie z.B. der DE 196 39 150 A1 oder der US 6,268,075 B1, werden katalytische Brenner eingesetzt, um die Komponenten des Gaserzeugungssystems aufzuheizen. Der Nachteil einer derartigen Verwendung von katalytischen Brennern führt dazu, dass nur vergleichsweise leicht siedende Brennstoffe eingesetzt werden können. Eine Verwendung mit höherkettigen und damit entsprechend schwerer siedenden Kohlenwasserstoffgemischen, wie z.B. Diesel, ist nicht oder nur mit erheblichem Auf-

wand zur Aufbereitung des Brennstoffs vor der eigentlichen Umsetzung in den katalytischen Brennern möglich.

Ausgehend davon ist es die Aufgabe der Erfindung ein Startverfahren für ein Gaserzeugungssystem zum Erzeugen eines wasserstoffhaltigen Gases zum Betreiben einer Brennstoffzelle, mit Einrichtungen zum Umsetzen von Ausgangsstoffen in das wasserstoffhaltige Gas, mit Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe, mit Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen und mit einem Startbrenner, zu schaffen, welches die eingangs genannten Nachteile vermeidet, und welches die während des Anfahrprozesses nicht umgesetzten Reste des Brennstoffes sowie sich evtl. bildendem Ruß auf ein Minimum reduziert.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass in einem ersten Verfahrensschritt in dem Startbrenner zumindest ein Brennstoff verbrannt wird, wobei die heißen Abgase der Verbrennung zuerst die Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe erwärmen und mit der danach noch verbleibenden Restwärme wenigstens eine weitere Komponente erwärmt wird, wobei die Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe durch eine elektrische Beheizung erwärmt werden, wonach in einem zweiten Verfahrensschritt die Zugabe der Ausgangsstoffe in die jeweiligen Komponenten der Einrichtungen nach dem jeweiligen Erreichen einer Starttemperatur erfolgt, und wonach in einem dritten Verfahrensschritt eine kontinuierliche Veränderung der Mengenverhältnisse der Ausgangsstoffe zueinander in Richtung der für den bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehenen Mengenverhältnisse hin erfolgt.

Dieses Startverfahren, welches sich auf ein Gaserzeugungssystem in seiner Gesamtheit bezieht, nutzt für das Aufheizen der Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe die Energie aus einer direkten Verbrennung eines Brennstoffs. Da diese Konditionierung wenigstens eines Teils

der Ausgangsstoffe üblicherweise sehr energieintensiv ist, da es sich hierbei im allgemeinen zumindest auch um die Verdampfung von Wasser handelt, ist hierzu der hohe Energieinhalt und der gute Wirkungsgrad einer direkten Verbrennung sehr vorteilhaft. Da die Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe üblicherweise als Wärmetauscher ausgebildet sind und meist keine katalytischen Materialien enthalten, ist hierbei auch die Gefahr einer Schädigung der Einrichtungen durch eine Überhitzung vergleichsweise klein. Dies ermöglicht es dann aber auch, die Verbrennung nicht hinsichtlich der Temperatur zu regeln, sondern sie hinsichtlich minimaler Emissionen zu optimieren. Durch die erfindungsgemäße Verwendung der heißen Abgase der Verbrennung zum Beheizen der Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe wird außerdem die Möglichkeit geschaffen, die Komponenten, also im allgemeinen die Wärmetauscher, so zu nutzen wie diese ohnehin vorliegen, da die heißen Abgase lediglich durch einen Teil der Wärmetauscher geleitet werden müssen, durch welche im regulären Betrieb des Gaserzeugungssystems später ebenfalls ein wärmeabgebendes Medium strömen wird. Prinzipiell spielt dabei der verwendete Brennstoff keine Rolle. Gemäß einer sehr günstigen Weiterbildung der Erfindung kann jedoch ein Brennstoff eingesetzt werden, welcher auch später als Ausgangsstoff für die Erzeugung des wasserstoffreichen Gases genutzt wird.

Nach der Erwärmung der Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe werden die heißen Abgase der Verbrennung im Startbrenner deutlich abgekühlt sein. Sie werden aber immer noch ein Temperaturniveau aufweisen, welches deutlich über der Umgebungstemperatur des Gaserzeugungssystems liegt. Mit der in den Abgasen enthaltenen Restwärme kann demnach noch die wenigstens eine weitere Komponente erwärmt werden. Entsprechend dem oben angesprochenen Temperaturniveau der Restwärme in dem Abgasstrom kann die wenigstens eine weitere Komponente nur eine Komponente sein, welche bereits ab einer deutlich niedrigeren Temperatur in der Lage ist regulär zu arbeiten, als die Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe

in das wasserstoffhaltige Gas oder die Einrichtungen zum Konditionieren des wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe. Als die Erfindung nicht darauf einschränkende Beispiele für eine derartige Komponente könnten hier die Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen, die Brennstoffzelle selbst oder ein Kühlkreislauf der Brennstoffzelle genannt werden.

In den Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe kommen die Ausgangsstoffe durch die oben genannten Maßnahmen zu ihrer Konditionierung zumindest erwärmt und im weiteren Verlauf des Startverfahrens dann auch bereits annähernd ideal konditioniert, was im allgemeinen verdampft und überhitzt bedeutet, an. Die Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe werden also durch die Ausgangsstoffe selbst bis zu einem gewissen Grad bereits erwärmt. Aufgrund ihrer vergleichsweise kleinen Wärmekapazität erfolgt ihre weitere Erwärmung durch eine elektrische Beheizung. Diese elektrische Beheizung, welche die Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe bereits vor dem ersten Einstromen der Ausgangsstoffe und dann weiter bis zum Übergang in den regulären Betrieb des Gaserzeugungssystems erwärmt, kann dabei sehr einfach und effektiv gesteuert und/oder geregelt werden. So lässt sich der Eintrag an thermischer Energie derart steuern bzw. regeln, dass eine ideale, schnellstmögliche Erwärmung stattfindet, ohne dass in den Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe üblicherweise eingesetzte, katalytisch aktive Materialien eine thermische Schädigung erfahren.

Als Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe können verschiedene Einrichtungen mit jeweils unterschiedlichen Komponenten genutzt werden. Eine Beispielhafte Lösung könnte z.B. einen Reformer mit wenigstens einer nachgeschalteten Shiftstufe vorsehen, in welchem die Umsetzung der Ausgangsstoffe beispielsweise durch autotherme Reformierung oder Wasserdampfreformierung erfolgt.

Wie bereits oben erwähnt, werden nach einer ersten Aufheizung in einem zweiten Verfahrensschritt die Ausgangsstoffe der jeweiligen Komponenten der Einrichtungen zugegeben, sobald die jeweilige Komponente ihre Starttemperatur erreicht hat. Unter der Starttemperatur ist dabei nicht die Temperatur zu verstehen, die eine ideale Umsetzung gewährleistet, sondern diejenige Temperatur, ab welcher eine Umsetzung prinzipiell und gegebenenfalls auch mit einem schlechten Wirkungsgrad und einer schlechten Ausnutzung der Ausgangsstoffe möglich ist.

Auf diese nicht optimale Umsetzung während der Startphase wird, wie es allgemein üblich ist, über eine entsprechende Zusammensetzung der Ausgangsstoffe hinsichtlich des Mengenverhältnisses reagiert. Dies kann insbesondere bedeuten, dass vergleichsweise wenig kohlenwasserstoffhaltiger Ausgangsstoff zugegeben wird, um Startemissionen und Rußbildung gering zu halten. Andererseits kann durch geeignete Maßnahmen, beispielsweise eine überstöchiometrische Verbrennung im Bereich des autothermen Reformers, ein zusätzlicher Aufheizeffekt durch eine Erzeugung von thermischer Energie bei derartiger Umsetzung der Ausgangsstoffe erreicht werden.

Nach den oben beschriebenen Verfahrensschritten erfolgt dann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem dritten Verfahrensschritt die kontinuierliche Veränderung dieser soeben beschriebenen Mengenverhältnisse der Ausgangsstoffe zueinander, in der Art, dass diese sich immer mehr den für den bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehenen Mengenverhältnissen anpassen. Der Übergang aus der Startphase in den bestimmungsgemäßen Betrieb erfolgt also kontinuierlich oder zumindest quasi-kontinuierlich.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann damit ein sehr schneller und effektiver Start erreicht werden, welcher mit einer minimalen Startzeit und mit minimalen Emissionen den bestimmungsgemäßen Betrieb des Gaserzeugungssystems ermöglicht.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Gaserzeugungssystems werden als Ausgangsstoffe Wasser, ein sauerstoffhaltiges Medium, wie z.B. Luft oder gegebenenfalls reiner Sauerstoff, sowie eine kohlenwasserstoffhaltige Verbindung verwendet. Wie oben bereits erwähnt, kann es dabei von Vorteil sein, wenn diese kohlenwasserstoffhaltige Verbindung auch als Brennstoff in dem Brenner verwendet wird. Mit einer weiteren, sehr günstigen Ausgestaltung dieser Idee wird die kohlenwasserstoffhaltige Verbindung, welche während des zweiten Verfahrensschritts den Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe zugeführt wird, zumindest während eines zeitlichen Teils des zweiten Verfahrensschritts mittels elektrischer Energie verdampft.

Durch den Start des Reformers mit dem sauerstoffhaltigen Medium, beispielsweise Luft, und/oder dem in den Einrichtungen zur Konditionierung der Ausgangsstoffe verdampften Wasser sowie einem elektrisch verdampften flüssigen Brennstoff können in der Startphase des Gaserzeugungssystems die hier unvermeidlichen Restkohlenwasserstoffe auf ein Minimum reduziert werden. Außerdem sorgt die Zugabe von Wasserdampf dafür, dass die Gefahr einer Überhitzung des ein katalytisch aktives Material aufweisenden Reformers minimiert wird. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass durch die elektrische Verdampfung des Brennstoffs, welche im allgemeinen eine weitaus geringere Energie zu seiner Verdampfung benötigt als das ebenfalls verwendete Wasser, die Möglichkeit besteht, einen flüssigen und leicht lagerbaren Brennstoff mit hohem Energieinhalt einzusetzen. Durch die Verdampfung wird dabei dennoch ein sehr homogenes Gemisch mit der Luft und/oder dem Wasserdampf erzielt, was ebenfalls die Umsetzung erleichtert, Emissionen verringert und die Startzeit des Gaserzeugungssystems verkürzt.

Wie oben bereits erwähnt, kann es sich bei der weiteren Komponente um einen Kühlkreislauf handeln, welcher über einen Wärmetauscher mit der verbleibenden Restwärme des Startbrenners nach dem Aufheizen der Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe erwärmt wird. Bei einem System,

welches es nun eine selektive Oxidationsstufe als eine Einrichtung zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen aufweist, kann über diesen bereits angesprochenen Kühlkreislauf diese selektive Oxidationsstufe erwärmt werden. Da die selektiven Oxidationsstufen ein weitaus geringeres Temperaturpotential bis zu ihrer Startfähigkeit benötigen als ein Reformer oder Verdampfer, kann die Restwärme in der oben genannten Art hierfür ideal genutzt werden.

Des weiteren können gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung als Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe eine autotherme Reformierungsstufe und zumindest eine danach angeordnete Shiftstufe Verwendung finden. In einer sehr günstigen Weiterbildung dieser Idee können dann zum weiteren Aufheizen der wenigstens einen Shiftstufe während des zweiten Verfahrensschritts unter Zugabe des sauerstoffhaltigen Mediums Teile des aus dem autothermen Reformers kommenden Wasserstoffs und Kohlenmonoxids verbrannt werden. Dieser zuletzt beschriebene Aufbau mit einer reaktiven Erwärmung der wenigstens einen Shiftstufe durch eine Verbrennung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid beschleunigt den Vorgang der Aufheizung der Shiftstufe zusätzlich zu ihrer vorhandenen elektrischen Beheizung erheblich. Dies ist insbesondere im Hinblick auf eine schnelle Zuschaltung der nachfolgend gegebenenfalls angeordneten und oben bereits beschriebenen selektiven Oxidationsstufe sehr wichtig. Da durch diese selektive Oxidationsstufe die Reduzierung von Kohlenmonoxid in dem wasserstoffreichen Gas erreicht wird, kann bei sehr früh zugeschalteter selektiver Oxidationsstufe auch sehr früh eine Zuschaltung der Brennstoffzelle selbst erfolgen, da diese anderenfalls aufgrund des vergleichsweise hohen Kohlenmonoxidgehalts nicht zugeschaltet werden kann.

Auch bei den alternativen Möglichkeiten, anstelle der selektiven Oxidationsstufe ein Wasserstoffseparationsmodul einzusetzen, wie es oben bereits angedeutet wurde, ist dies von entscheidendem Vorteil, da auch hier eine Reduzierung des Kohlenmonoxids in dem wasserstoffreichen Gas, welches im Bereich des

Wasserstoffseparationsmoduls einströmt, dessen Betriebsverhalten entscheidend verbessert. Dies ist insbesondere aufgrund des höheren Wasserstoffpartialdrucks und der geringeren CO-Adsorption im Bereich des Wasserstoffseparationsmoduls möglich.

Eine besonders günstige Ausgestaltungsvariante des eingangs erläuterten erfundungsgemäßen Verfahrens kann außerdem vorsehen, dass das in den Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe erzeugte Gas zumindest während der Anfangsphase des zweiten Verfahrensschritts im Bypass um die Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases und/oder die Brennstoffzelle geführt und unmittelbar einer katalytischen Verbrennung zugeführt wird, welche ihrerseits Energie zum Betreiben der Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe liefert.

Dieser Vorgang ist hinsichtlich der Systemverschaltung im allgemeinen sehr einfach, da ein derartiger katalytischer Brenner zum Verbrennen der Reststoffe für den standardgemäßen Betrieb ohnehin vorhanden ist und dabei die Konditionierung wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe übernimmt. Im allgemeinen wird dies das Verdampfen und/oder Überhitzen von Wasser sowie gegebenenfalls auch die Vorwärmung des sauerstoffhaltigen Mediums bzw. der Luft sein. Werden die zum frühen Zeitpunkt des zweiten Verfahrensschritts erzeugten Produktgase, welche starke Verunreinigungen insbesondere mit Kohlenmonoxid und Restkohlenwasserstoffen aufweisen, unmittelbar dem katalytischen Brenner zugeführt, so kann eine Schädigung der Komponenten zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases und/oder der Brennstoffzelle selbst vermieden werden. Die Reststoffe können in dem katalytischen Brenner in einer annähernd idealer Weise in thermische Energie umgesetzt werden. Dies bietet den entscheidenden Vorteil, dass einerseits eine vergleichsweise große Menge an thermischer Energie bereitgestellt werden kann, da auch der ansonsten nicht umgesetzte Wasserstoff hier verbrannt wird. Andererseits wird durch eine Verbrennung der brennbaren Bestandteile eine annähernd vollständige Umsetzung derselben erreicht, so

dass ein wenigstens annähernd emissionsfreier Betrieb des Gaserzeugungssystems möglich ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. seiner Weiterbildungen wird durch den oben bereits mehrfach angesprochenen Kühlkreislauf als weitere Komponente eine Erwärmung der Brennstoffzelle selbst vorgenommen. Diese vergleichsweise sanfte Aufheizung der Brennstoffzelle über das Kühlmittel schont das Material der Brennstoffzelle, welches insbesondere im Bereich der Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) relativ empfindlich gegenüber Thermospannungen ist. Die durch den Kühlkreislauf und das in der Brennstoffzelle während des regulären Betriebs ohnehin eingesetzte Kühlmittel wird eine vergleichsweise schnelle und dennoch relativ sanfte Aufheizung der Brennstoffzelle erreicht. Auch dies dient zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft des gesamten Systems aus Gaserzeugungssystem und Brennstoffzelle innerhalb einer sehr kurzen Zeit.

Werden bei einem derartigen Aufbau, wie oben beschrieben, die Produktgase während des zweiten Verfahrensschritts des Startvorgangs in den katalytischen Brenner geleitet, so liefert der katalytische Brenner einen Teil der Energie für die Konditionierung wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe. Die Restwärme der hier ebenfalls Energie liefernden Abgase des Startbrenners wird damit nicht mehr vollständig genutzt, so dass für die Erwärmung der weiteren Komponenten ein höherer thermischer Energieinhalt zur Verfügung steht und diese Erwärmung schneller erfolgt. Da sich der Restenergieinhalt mit Inbetriebnahme des katalytischen Brenners langsam steigert, erfolgt die Erwärmung der weiteren Komponenten mittels der Restwärme dennoch vergleichsweise sanft.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den restlichen Unteransprüchen und werden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 eine erste mögliche Ausführungsform eines Gaserzeugungssystems und einer Brennstoffzelle;

Fig. 2 eine weitere mögliche Ausführungsform des Gaserzeugungssystems und der Brennstoffzelle;

Fig. 3 eine schematische Darstellung des Betriebs der ersten möglichen Ausführungsform im Falle eines Kaltstarts;

Fig. 4 eine schematische Darstellung des Betriebs der weiteren möglichen Ausführungsform im Falle des Kaltstarts;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Aufbereitung eines Brennstoffs;

Fig. 6 eine schematische Darstellung einer möglichen Verschaltung des Gaserzeugungssystems im Kaltstartfall.

In Fig. 1 ist ein typisches Gaserzeugungssystem 1 dargestellt, mittels welchem aus einem kohlenwasserstoffhaltigen Ausgangsstoff  $C_nH_m$  zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Medium  $O_2$ , wie z.B. Luft, und gegebenenfalls Wasser  $H_2O$ , ein wasserstoffreiches Gas  $H_2$  erzeugt wird. Dieses wasserstoffreiche Gas  $H_2$  wird einer Brennstoffzelle 2 zugeführt, welche beispielsweise als PEM-Brennstoffzelle ausgebildet sein kann, in welcher ein Anodenraum 3 durch eine Protonen leitende Membran (PEM) 4 von einem Kathodenraum 5 getrennt ist. In dem Gaserzeugungssystem 1 wird das wasserstoffreiche Gas aus der kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung  $C_nH_m$ , Luft  $O_2$  und Wasser  $H_2O$  in einem Reformer 6, beispielsweise durch autotherme Reformierung, erzeugt. Das zugefügte Wasser  $H_2O$  wird dazu zuerst in einem Wärmetauscher/Verdampfer 7 verdampft und/oder überhitzt, wobei hier bereits die Luft  $O_2$  zugegeben sein kann, so dass diese ebenfalls vorgewärmt wird. Vor dem autothermen Reformer 6 wird dann die kohlenwasserstoffhaltige Verbindung  $C_nH_m$ , welche beispielsweise Benzin

oder Diesel sein kann, zugeführt. Den autothermen Reformer 6 verlässt dann ein wasserstoffhaltiges Gas, welches in einer nachgeschalteten Shiftstufe 8 nochmals hinsichtlich seines Gehalts an Wasserstoff angereichert wird. Dieses dann wasserstoffreiche Gas strömt dann in ein Wasserstoffseparationsmodul 9 bzw. Membranmodul 9 ein. In dem Membranmodul 9 wird das wasserstoffreiche Gas mittels für Wasserstoff selektiv durchlässige Membranen, beispielsweise auf Basis von Palladiumlegierungen, in nahezu reinen Wasserstoff H<sub>2</sub> und ein Restgas, das sogenannte Retentat R, aufgeteilt. Der nahezu reine Wasserstoff H<sub>2</sub> wird der Brennstoffzelle und hier insbesondere dem Anodenraum 3 der Brennstoffzelle 2 zugeführt. Das Retentat R gelangt in einem katalytischen Brenner 10.

In der Brennstoffzelle 2 werden der Wasserstoff H<sub>2</sub> und ein sauerstoffhaltiges Medium O<sub>2</sub>, insbesondere Luft, zu elektrischer Energie und Wasser umgesetzt. Die Restgase bzw. Abgase aus dem Bereich der Brennstoffzelle 2 werden über entsprechende Leitungen ebenfalls dem katalytischen Brenner 10 zugeführt. Das Gemisch aus den Abgasen der Brennstoffzelle 2 und dem Retentat R aus dem Membranmodul 9 enthält dabei noch ausreichende Mengen an Sauerstoff und brennbaren Bestandteilen, wie z.B. Restwasserstoff und Resten an Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid und dergleichen, welche das Membranmodul 9 nicht passieren konnten. Aus dem Energieinhalt dieser Restgase wird in dem katalytischen Brenner 10 thermische Energie erzeugt, deren Abgase in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel insbesondere zur Beheizung des Wärmetauschers/Verdampfers 7 genutzt werden.

Die weiteren Komponenten, welche hier gestrichelt dargestellt sind, sind ein Startbrenner 11 sowie weitere Komponenten 12, auf die später, ebenso wie auf die optionale Zugabe von Luft O<sub>2</sub> in die Shiftstufe 8, bei der Beschreibung des Verfahrens zum Starten des Gaserzeugungssystems 1 noch näher eingegangen wird.

In Fig. 2 ist eine weitere alternative Ausführungsform eines Gaserzeugungssystems 1' dargestellt. Das Gaserzeugungssystem 1'

weist vergleichbare Komponenten, wie das oben dargestellte Gaserzeugungssystem 1 auf. Diese Komponenten sind mit analogen Bezugszeichen versehen. Nachfolgend soll lediglich auf die Unterschiede zwischen den beiden Gaserzeugungssystemen 1 und 1' näher eingegangen werden.

Das Gaserzeugungssystem 1' arbeitet nach dem gleichen Funktionsprinzip wie das Gaserzeugungssystem 1. Lediglich die Reinigung des wasserstoffreichen Gases, welches oben über das Membranmodul 9 als Einrichtung zum Reinigen des wasserstoffreichen Gases von unerwünschten Reststoffen, dort das Retentat R, realisiert wurde, ist hier anders ausgeführt. Das wasserstoffhaltige Gas strömt nach dem autothermen Reformer 6 zuerst in eine Hochtemperaturshiftstufe 8a und dann in eine Niedertemperaturshiftstufe 8b. Das Funktionsprinzip ist dabei vergleichbar der beim Gaserzeugungssystem 1 vorhandenen einen Shiftstufe 8, bei der jeweils eine Anreicherung mit Wasserstoff in an sich bekannter Weise erfolgt. Anstatt des Membranmoduls 9 schließt sich bei dem Gaserzeugungssystem 1' zur Gasreinigung eine selektive Oxidationsstufe 13 an, in welcher Verunreinigungen des wasserstoffreichen Gases mit Kohlenmonoxid, unter Zugabe von Luft bzw. einem sauerstoffhaltigen Medium O<sub>2</sub>, zu Kohlendioxid oxidiert werden. Nach der selektiven Oxidationsstufe 13 strömt dann ein wasserstoffreiches Gas H<sub>2</sub>, welches jedoch immer noch Reste der kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung und Kohlendioxid enthalten wird, in den Bereich der Anode 3 der Brennstoffzelle 2. Bei dem Gaserzeugungssystem 1' bzw. der Brennstoffzellenanlage gemäß Fig. 2 strömen dann die Abgase aus dem Bereich der Brennstoffzelle 2 in den katalytischen Brenner 10, so dass die in ihnen enthaltene Restenergie, wie oben bereits analog beschrieben, dem Wärmetauscher/Verdampfer 7 zugeführt werden kann.

Nachfolgend soll nun das Verfahren zum Starten anhand der beiden hier prinzipiell dargestellten Gaserzeugungssysteme 1 und 1' beispielhaft erläutert werden. Selbstverständlich lassen sich diese auf andere vergleichbare Gaserzeugungssysteme über-

tragen, so dass die Erfindung weder auf die beiden beschriebenen Ausführungsformen des Gaserzeugungssystems noch auf die Verwendung von Wasser, Luft und Benzin oder Diesel als Ausgangsstoffe eingeschränkt sein soll.

Vor Beginn der eigentlichen Erzeugung des wasserstoffhaltigen Gases in dem Gaserzeugungssystem 1 muß insbesondere der Reformer 6 auf seine Zündtemperatur gebracht werden. Bei der Zugabe von Wasserdampf für die Reformierung muß dieser ebenfalls erzeugt werden, was durch den Wärmetauscher/Verdampfer 7 als Einrichtung zur Konditionierung wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe geschieht. Um diese beiden Voraussetzungen zu erfüllen, welche zum Start des Gaserzeugungssystems 1 und insbesondere zum Start der Reformierung notwendig sind, wird in dem Startbrenner 11 durch eine in bevorzugter Weise überstöchiometrische Verbrennung eines Brennstoffs, insbesondere der kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung  $C_nH_m$ , welche in dem Gaserzeugungssystem 1 ohnehin zur Erzeugung des wasserstoffhaltigen Gases verwendet wird, ein heißes Abgas erzeugt. Der Startbrenner 11 ist dabei gemäß dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel als Porenbrenner ausgebildet, da dieser bei der überstöchiometrischen Verbrennung der kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung  $C_nH_m$  unter idealen Bedingungen das heiße Abgas mit Temperaturen von bis zu 1000°C bereitstellt. Dieses heiße Abgas wird dann zur Beheizung des Wärmetauschers/Verdampfers 7 benutzt, in welchem die Konditionierung der Ausgangsstoffe und hier insbesondere die Verdampfung und Überhitzung des Wassers  $H_2O$  und gegebenenfalls auch eine Vorwärmung die autotherme Reformierung benötigten Luft  $O_2$  erfolgt.

Das heiße Abgas aus dem Startbrenner 11 wird dabei in dem Wärmetauscher/Verdampfer 7 so weit abgekühlt, dass es anschließend zur Aufheizung der weiteren Komponenten 12 verwendet werden kann. Gemäß der schematischen Darstellung in Fig. 3 handelt es sich bei den weiteren Komponenten 12 hier insbesondere um das Wasserstoffseparationsmodul 9 sowie einen Wärmetauscher 14. In der Anfangsphase des Kaltstartprozesses wird das heiße Gas

nach dem Wärmetauscher/Verdampfer 7 so weit abgekühlt sein, dass es lediglich eine Vorwärmung des Wasserstoffseparationsmoduls 9 und eine minimale Erwärmung des Wärmetauschers 14 ermöglicht. Im Laufe des Strafverfahrens wird aber immer mehr thermische Energie aus anderen Quellen, insbesondere aus dem katalytischen Brenner 10, in den Bereich des Wärmetauschers/Verdampfers 7 gelangen, so dass ein höherer Restwärmegehalt für eine zunehmende Aufheizung des Wasserstoffseparationsmoduls 9 und des Wärmetauschers 14 sorgt. Insbesondere benötigen diese weiteren Komponenten 12 keine sehr hohen Temperaturen des sich erwärmenden Abgases, da übliche Wasserstoffseparationsmodule beispielsweise ab ca. 80 bis 100°C prinzipiell, wenn auch mit schlechtem Wirkungsgrad, funktionsfähig sind. Durch den Wärmetauscher 14 wird ein Kühlmittel erwärmt, welches insbesondere in einem Kühlkreislauf der Brennstoffzelle 2 strömt, und welches dementsprechend die Brennstoffzelle 2 erwärmt. Da beim Einsatz der oben genannten PEM-Brennstoffzelle Betriebstemperaturen in der Größenordnung von 60 bis 100°C üblich sind, reicht auch hier die in dem Abgas enthaltene Restwärme für eine ausreichende Vorwärmung bzw. Erwärmung des Kühlmittels für die Brennstoffzelle 2 aus.

Parallel dazu erfolgt die Erwärmung des Reformers 6 und der wenigstens einen Shiftstufe 8 in dem hier dargestellten schematischen Aufbau elektrisch, was durch die in dem Bereich der genannten Komponenten 6, 8 prinzipiell angedeuteten elektrischen Anschlüsse symbolisiert ist. Zusätzlich zu der elektrischen Erwärmung kann die Erwärmung der Shiftstufe 8, sobald aus dem Reformer 6 Reformat in den Bereich der wenigstens einen Shiftstufe 8 strömt, durch eine Verbrennung unter der in Fig. 1 optional angedeutete Zufuhr eines sauerstoffhaltigen Mediums O<sub>2</sub>, z.B. Luft, erfolgen. Die Verbrennung wenigstens eines Teils der Inhalte des Reformats in der wenigstens einen Shiftstufe 8 mit dem Sauerstoff O<sub>2</sub> kann für eine unmittelbare Aufheizung der wenigstens einen Shiftstufe 8 sorgen.

Nachdem der Reformer 6 auf Zündtemperatur gebracht worden ist und, falls notwendig, die Versorgung mit dem Wasserdampf sichergestellt ist, beginnt in einem zweiten Schritt des Verfahrens zum Starten des Gaserzeugungssystems 1 der Reformierungsprozess. Zum Start dieses Reformierungsprozesses in dem Reformer 6 wird Brennstoff in Form der kohlenwasserstoffhaltigen Verbindung  $C_nH_m$ , Luft  $O_2$  und/oder Wasserdampf  $H_2O$  zugegeben. In besonders günstiger Weise wird die kohlenwasserstoffhaltige Verbindung dabei, wie in Fig. 5 dargestellt, über einen elektrischen Verdampfer 15 verdampft, was aufgrund der typischerweise geringen Menge an eingesetztem Brennstoff und der üblicherweise vergleichsweise geringen Energie, welche zur Verdampfung benötigt wird, mit einem vertretbaren Aufwand an elektrischer Energie möglich ist.

Sobald dann der überhitzte Wasserdampf und/oder die vorgewärmte Luft in ausreichender Menge und bei einem ausreichenden Temperaturniveau zur Verfügung steht, reicht die einfache Einspritzung des Kraftstoffs in diesen heissen Gasstrom aus, um eine ausreichende Verdampfung sicherzustellen. Der elektrische Verdampfer 15 muß dann nicht weiter betrieben werden. Der Start der Reformierung erfolgt in dem Reformer 6 mit gegenüber dem Normalbetrieb veränderten Betriebsparametern, welche dann mit zunehmender Aufheizung des Gaserzeugungssystems 1 in Richtung der Betriebsparameter im Normalbetrieb des Gaserzeugungssystems 1 verändert werden. Wie oben bereits erwähnt, wird während des Kaltstartprozesses der wenigstens einen Shiftstufe 8 ausserdem Sauerstoff bzw. Luft zugegeben, so dass auch hier die Aufheizung beschleunigt wird. Parallel dazu geschieht die Aufheizung mit dem Reformat und es ist zusätzlich die oben beschriebene elektrische Aufheizung vorgesehen.

Vergleichbares gilt auch für das Startverfahren in dem Gaserzeugungssystem 1', welches in einer schematischen Darstellung in Fig. 4 näher erläutert ist. Die Darstellung ist dabei gegenüber der Darstellung in Fig. 3 insoweit analog. Lediglich die Beheizung des Membranmoduls 9 entfällt hier, da dieses in dem

Gaserzeugungssystem 1' nicht vorhanden ist. Da die selektive Oxidationsstufe 13 ein weitaus niedrigeres Temperaturniveau als die Shiftstufe 8 bzw. die Shiftstufen 8a, 8b benötigt, wird diese nicht unmittelbar mit den heißen Abgase beheizt, sondern ebenfalls über den Kühlkreislauf der Brennstoffzelle 2, wobei der Wärmeeintrag in den Kühlkreislauf in der oben bereits bekannten Weise über den Wärmetauscher 14 erfolgt.

In der zweiten Startphase kann beim Aufbau des Gaserzeugungssystems 1' gemäß Fig. 2 das erzeugte Reformat nicht unmittelbar der Brennstoffzelle 2 zugeführt werden, da dieses einen sehr hohen Anteil an Kohlenmonoxid CO enthält, welcher zu einer Vergiftung der Elektrokatalysatoren in der Brennstoffzelle 2 führen würde. Die zu diesem Zeitpunkt im allgemeinen noch nicht ausreichend vorgewärmte Oxidationsstufe 13 könnte einen derart hohen Anteil an Kohlenmonoxid nicht komplett umsetzen. Aus diesem Grund wird ein Gaserzeugungssystem 1' in einem Aufbau gemäß Fig. 2 während der Startphase so betrieben, dass ein Bypass 16 das erzeugte wasserstoffhaltige Gas unmittelbar nach der Hochtemperaturshiftstufe 8b in den Bereich des katalytischen Brenners 10 leitet, wie dies in Fig. 6 prinzipiell angedeutet ist. Die selektive Oxidationsstufe 13 und die Brennstoffzelle 2 werden durch diesen Bypass 16 also umgangen, so dass diese erst in den Betrieb mit einbezogen werden, wenn eine ausreichende Temperatur der Komponenten des Gaserzeugungssystems 1' und eine ausreichende Qualität des Reformats vorliegen. Zusätzlich kann, wie in Fig. 6 prinzipiell angedeutet, Brennstoff, wie beispielsweise die kohlenwasserstoffhaltige Verbindung  $C_nH_m$ , welche in dem Gaserzeugungssystem 1' ohnehin Verwendung findet, in dem Bereich des katalytischen Brenners 10 zugegeben werden, so dass die Wärmeausbeute des katalytischen Brenners 10 bei Bedarf steigern lässt.

Zusätzlich wird das Gaserzeugungssystem 1 mit dem Membranmodul 9 auf seinen Betriebsdruck gebracht und, falls notwendig, eine zusätzliche Kompressionseinrichtung zur Luftversorgung des Reformers 6 gestartet, so dass im bereits vorgeheizten Membranmo-

dul 9 Wasserstoff aus dem Reformat abgetrennt und der Brennstoffzelle 2 zugeführt werden kann. Dieser frühe Start der Brennstoffzelle 2 mit nahezu reinem Wasserstoff, ohne dass hier entsprechende Verunreinigungen mit CO oder dergleichen befürchtet werden müßte, wie es bei der Ausführung des Gaserzeugungssystems 1' der Fall wäre, erlaubt die sehr schnelle Aufheizung der Brennstoffzelle 2 durch ihre Inbetriebnahme.

Gemäß dem in Fig. 1 dargestellten Systemaufbau wird das Restgas aus dem Membranmodul 9, das Retentat R, dem katalytischen Brenner 10 zugeführt, so dass auch dieser sehr bald während des Startvorgangs thermische Energie zur Verfügung stellt, welche ebenfalls der Erwärmung des Wärmetauschers/Verdampfers 7 dient und die Startzeit für das Gaserzeugungssystem 1 bzw. 1' weiter verkürzt. Auch in dieser Phase wird die Aufheizung der weiteren Komponenten, insbesondere des Membranmoduls 9 und des Wärmetauschers 14, weiter erfolgen. Sobald der größte Teil der für die Konditionierung der Ausgangsstoffe benötigten thermischen Energie durch den katalytischen Brenner 10 geliefert wird, kann außerdem die Leistung bzw. die Brennstoffzufuhr zu dem Startbrenner 11 reduziert werden, so dass keine Überhitzung des Kühlmittels im Bereich des Wärmetauschers 14 auftritt.

Während des Startverfahrens selbst wird der Systemdruck in dem Gaserzeugungssystem 1 bzw. 1' kontinuierlich erhöht. Deshalb kann der Startbrenner 11 in dem Gaserzeugungssystem 1 bzw. 1' sehr einfach integriert werden. Die Anbindung des Startbrenners 11 kann beispielsweise über Leitungselemente erfolgen, welche lediglich über hitzebeständige Rückströmsicherungen verfügen, so dass mit erhöhtem Systemdruck in dem Gaserzeugungssystem 1 bzw. 1' die Verbindung zum Startbrenner 11 automatisch unterbunden wird. Durch diese Maßnahme kann beispielsweise auf aufwändige hochtemperaturbeständige Ventile, Proportionalventile oder dergleichen, verzichtet werden. Dies ist insbesondere auch daher möglich, dass der Startbrenner 11 mit hohem Temperaturniveau im wesentlichen lediglich eine Komponente, nämlich den Wärmetauscher und/oder Verdampfer versorgt, und dass die nach-

geschalteten Komponenten in dem üblichen Strömungsweg des Systems angeordnet sein können.

Bei dem hier beschriebenen Startverfahren, welches am Beispiel der beiden eingangs erläuterten Gaserzeugungssysteme 1 und 1' prinzipiell dargestellt wurde, wird jeweils eine sehr schnelle Aufheizung des Gesamtsystems erreicht, welche aufgrund der oben erläuterten Maßnahmen in einem sehr kurzen Zeitraum und mit sehr wenigen Emissionen möglich ist.

DaimlerChrysler AG

IPM/U-SNF

25.06.2002

Patentansprüche

1. Verfahren zum Starten eines Gaserzeugungssystems zum Erzeugen eines wasserstoffhaltigen Gases zum Betreiben einer Brennstoffzelle, mit Einrichtungen zum Umsetzen von Ausgangsstoffen in das wasserstoffhaltiges Gas, mit Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe, mit Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen und mit einem Startbrenner, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Verfahrensschritt in dem Startbrenner (11) zumindest ein Brennstoff verbrannt wird, wobei die heißen Abgase der Verbrennung zuerst die Einrichtungen (7) zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe erwärmen und mit der danach noch verbleibenden Restwärme wenigstens eine weitere Komponente (12) erwärmt wird, wobei die Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe durch eine elektrische Beheizung erwärmt werden, wonach in einem zweiten Verfahrensschritt die Zugabe der Ausgangsstoffe in die jeweiligen Komponenten der Einrichtungen nach dem jeweiligen Erreichen einer Starttemperatur erfolgt, und wonach in einem dritten Verfahrensschritt eine kontinuierliche Veränderung der Mengenverhältnisse der Ausgangsstoffe zueinander in Richtung der für den bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehenen Mengenverhältnisse hin erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Startbrenner (11) ein Porenbrenner eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass als Ausgangsstoffe Wasser ( $H_2O$ ), ein sauerstoffhaltiges  
Medium ( $O_2$ ) sowie eine kohlenwasserstoffhaltige Verbindung  
( $C_nH_m$ ) verwendet werden, wobei in dem Startbrenner (11) diesel-  
be kohlenwasserstoffhaltige Verbindung ( $C_nH_m$ ) als Brennstoff  
verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die kohlenwasserstoffhaltige Verbindung ( $C_nH_m$ ), welche  
während des zweiten Verfahrensschritts den Einrichtungen zum  
Umsetzen der Ausgangsstoffe zugeführt wird, zumindest während  
eines zeitlichen Teils des zweiten Verfahrensschritts mittels  
elektrischer Energie verdampft wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass in den Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines  
Teils der Ausgangsstoffe der Ausgangsstoff Wasser ( $H_2O$ ) erwärmt  
und verdampft sowie zumindest einen Teil des als Ausgangsstoff  
genutzten sauerstoffhaltigen Mediums ( $O_2$ ) erwärmt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass als weitere Komponente (12) ein Wasserstoffseparationsmo-  
dul (9) auf der Basis von für Wasserstoff selektiv durchlässi-  
gen Membranen, als Einrichtung zur Gasreinigung, von der ver-  
bleibenden Restwärme erwärmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass als weitere Komponente (12) über einen Wärmetauscher (14)  
ein Kühlkreislauf von der verbleibenden Restwärme erwärmt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass durch die Restwärme zuerst das Wasserstoffseparationsmodul (9) und dann der Kühlkreislauf erwärmt wird.

9. verfahren nach Anspruch 7 oder 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass durch den Kühlkreislauf die Erwärmung der Brennstoffzelle (2) erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 7, 8 oder 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass durch den Kühlkreislauf eine selektive Oxidationsstufe (13) erwärmt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass als Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe ein autothermer Reformer (6) und zumindest eine danach angeordnete Shiftstufe (8, 8a, 8b) verwendet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zum weiteren Aufheizen der wenigstens einen Shiftstufe (8, 8a, 8b) während des zweiten Verfahrensschritts, unter Zugabe des sauerstoffhaltigen Mediums ( $O_2$ ) Teile des aus dem autothermen Reformer (6) kommenden Wasserstoffs ( $H_2$ ) und Kohlenmonoxids ( $CO$ ) verbrannt werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das in den Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe erzeugte Gas zumindest während der Anfangsphase des zweiten Verfahrensschritts im Bypass (16) um die Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases und/oder die Brennstoffzelle geführt und unmittelbar einer katalytischen Verbrennung (10) zugeführt wird, welche ihrerseits Energie zum Betreiben der Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe liefert.

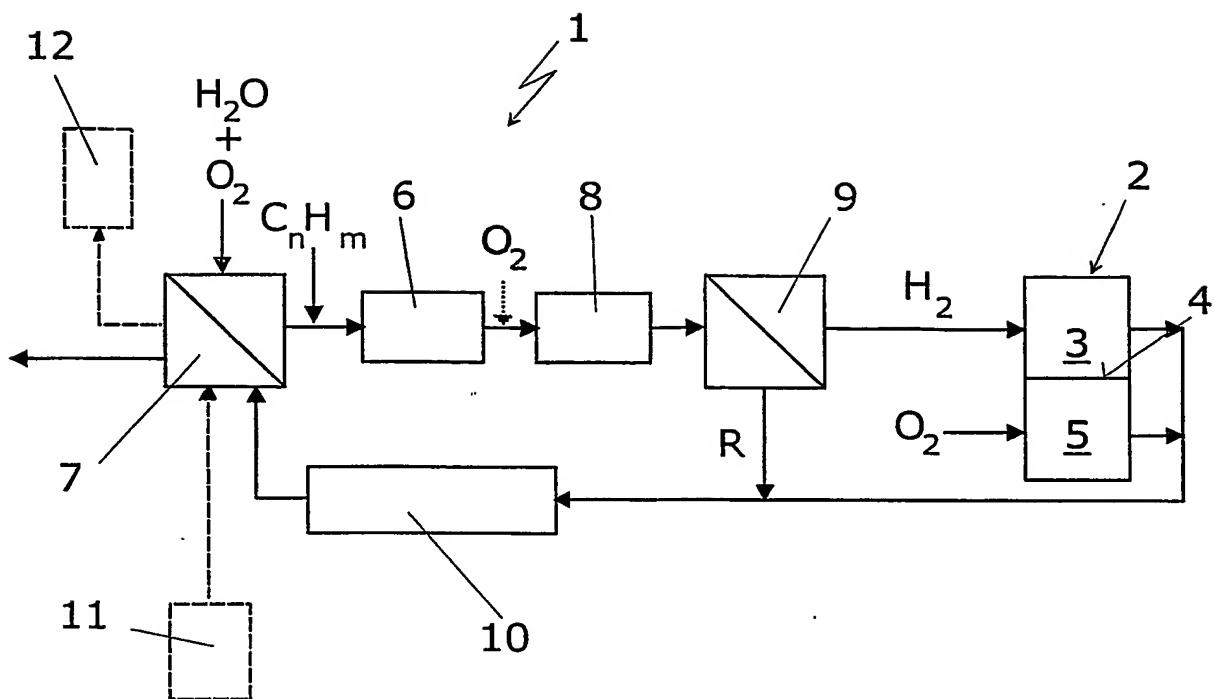


Fig. 1

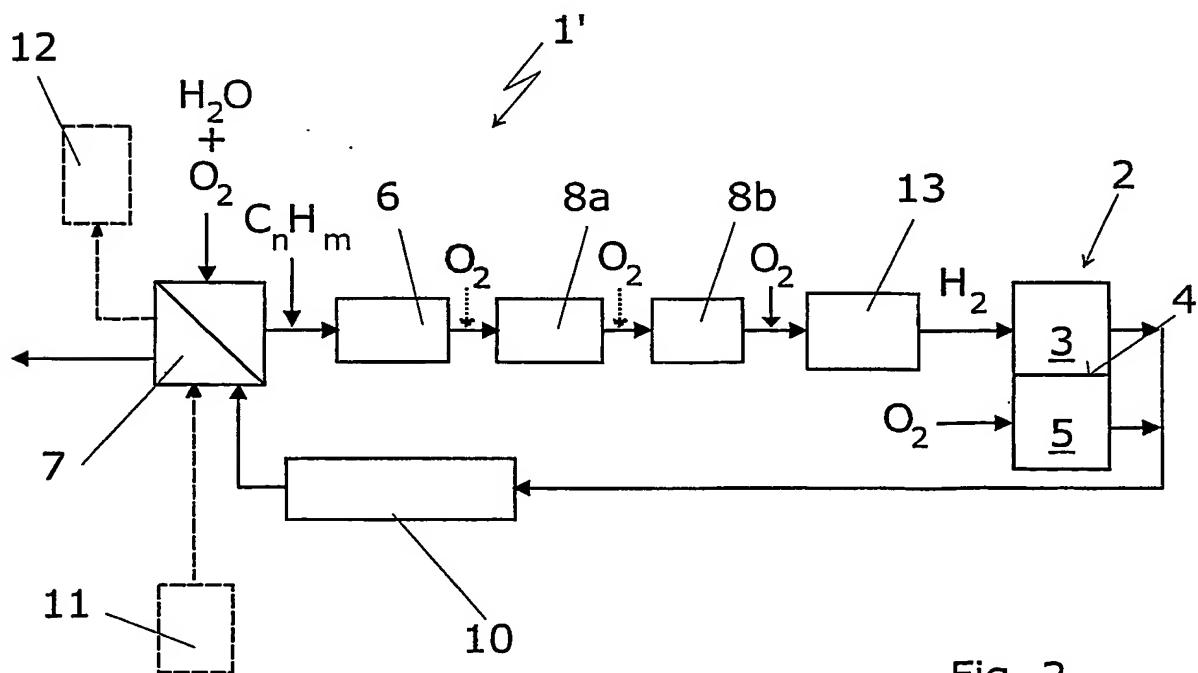


Fig. 2

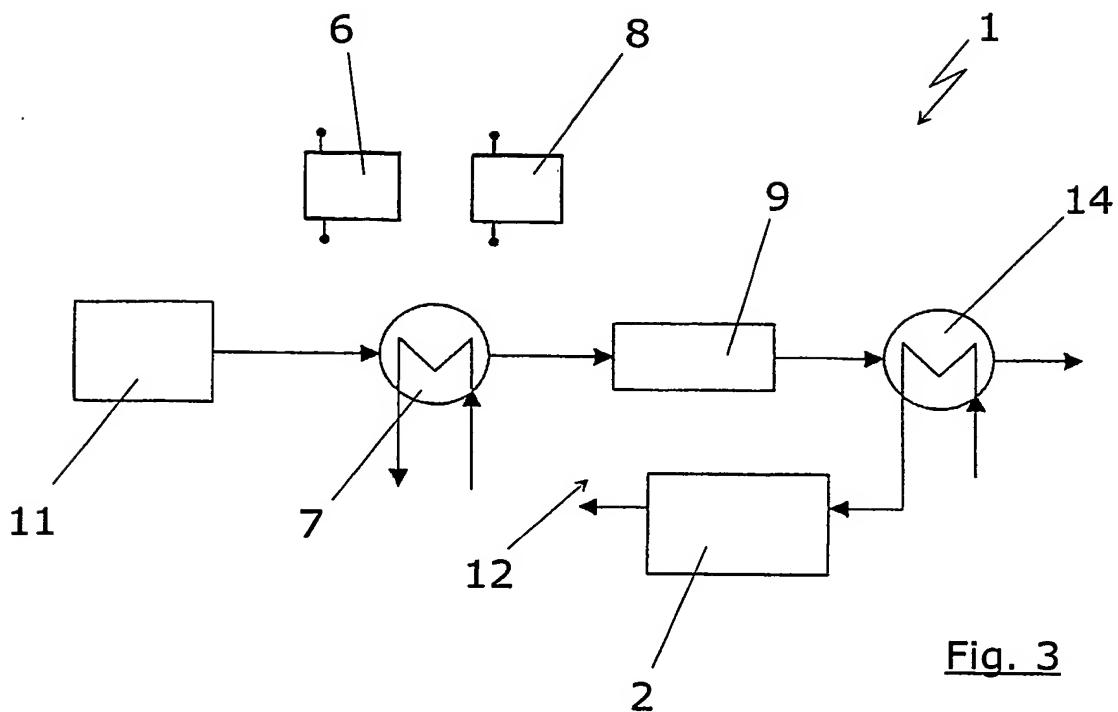


Fig. 3

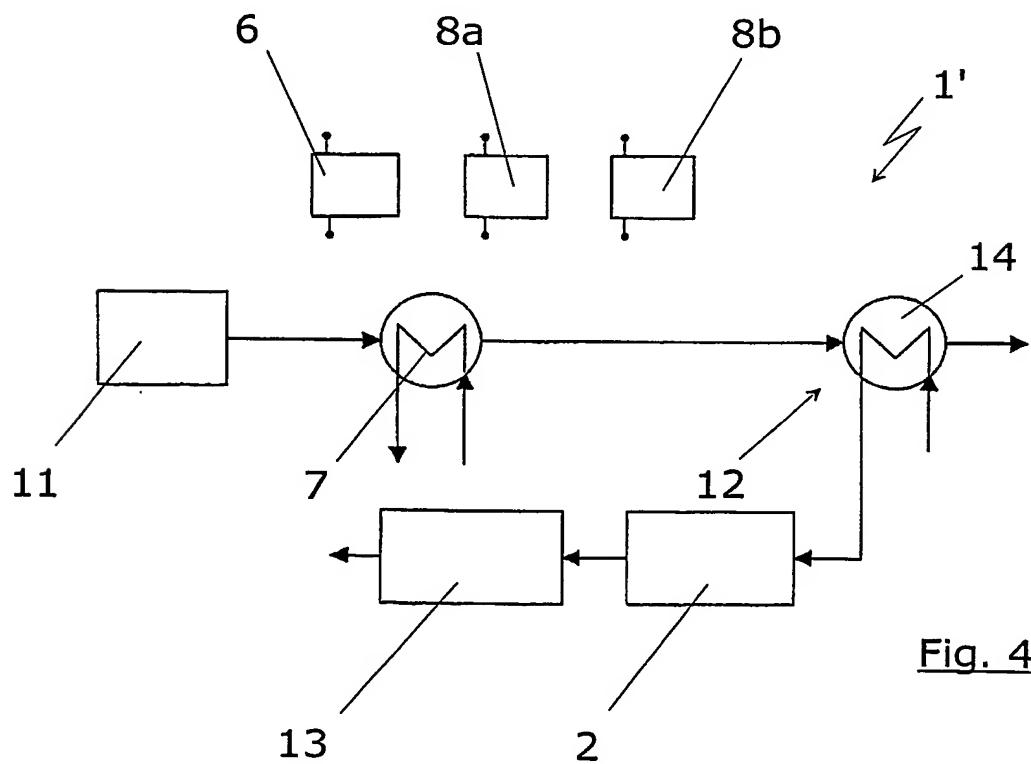


Fig. 4

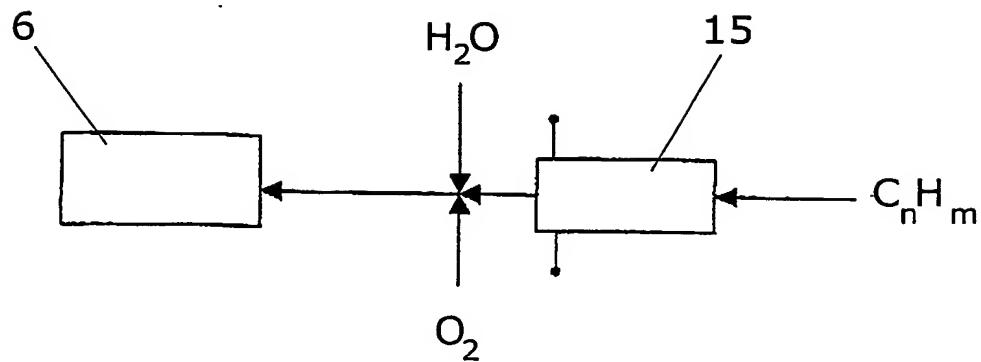


Fig. 5

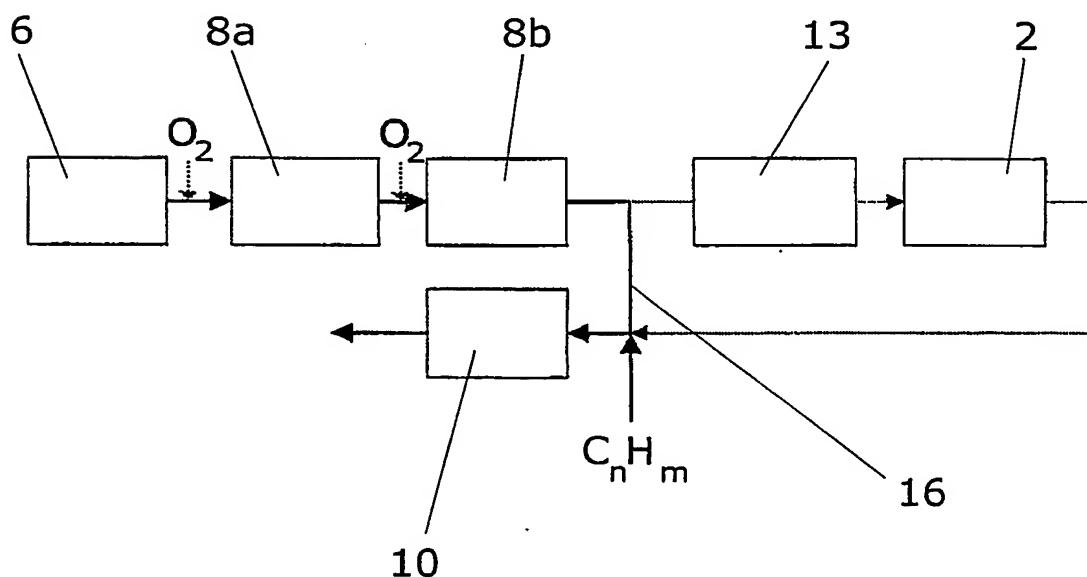


Fig. 6

DaimlerChrysler AG

IPM/U-SNF

25.06.2002

Zusammenfassung

Ein Verfahren dient zum Starten eines Gaserzeugungssystems zum Erzeugen eines wasserstoffhaltigen Gases zum Betreiben einer Brennstoffzelle. Das Gaserzeugungssystem verfügt Einrichtungen zum Umsetzen von Ausgangsstoffen in das wasserstoffhaltige Gas, über Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe, über Einrichtungen zum Reinigen des wasserstoffhaltigen Gases von unerwünschten Gasbestandteilen und über einen Startbrenner. In einem ersten Verfahrensschritt werden gemäß der Erfindung in dem Startbrenner zumindest ein Brennstoff verbrannt. Die heißen Abgase dieser Verbrennung erwärmen zuerst die Einrichtungen zum Konditionieren wenigstens eines Teils der Ausgangsstoffe und anschließend mit der verbleibenden Restwärme wenigstens eine weitere Komponente. Parallel dazu werden die Einrichtungen zum Umsetzen der Ausgangsstoffe durch eine elektrische Beheizung erwärmt. Nachfolgend werden in einem zweiten Verfahrensschritt die Ausgangsstoffe in die jeweiligen Komponenten der oben beschriebenen Einrichtungen zugegeben, wobei dies nach dem jeweiligen Erreichen einer Starttemperatur erfolgt. Anschließend werden in einem dritten Verfahrensschritt die Mengenverhältnisse der Ausgangsstoffe kontinuierlich in Richtung der für den bestimmungsgemäßen Betrieb des Gaserzeugungssystems vorgesehenen Mengenverhältnisse hin verändert.